

AFPP – 23^e CONFÉRENCE DU COLUMA
JOURNÉES INTERNATIONALES SUR LA LUTTE CONTRE LES MAUVAISES HERBES
DIJON – 6, 7 ET 8 DÉCEMBRE 2016

EFFICACITE DE DIFFERENTS HERBICIDES ALTERNATIFS A FAIBLE IMPACT ENVIRONNEMENTAL

A. DROUI⁽¹⁾ et J.-M. DEOGRATIAS⁽¹⁾

⁽¹⁾ ASTREDHOR SUD-OUEST GIE Fleurs et Plantes,
71 Avenue E. Bourlaux CS 20032, 33882 Villenave-d'Ornon Cedex, France
anthony.droui@astredhor.fr
jeanmarc.deogratias@astredhor.fr

RÉSUMÉ

En cultures ornementales hors-sol, la gestion de l'enherbement des surfaces non cultivées est un problème récurrent et engendre des coûts économiques importants. A part le désherbage mécanique, peu de solutions efficaces existent pour lutter contre les adventices. Les herbicides de nouvelle génération, à base d'acides gras, offrent une alternative aux producteurs, mais peu de données sont disponibles sur l'utilisation de ces produits. Cette expérimentation vise donc a (1) évaluer l'efficacité de l'offre actuelle en herbicides dérivés d'acides gras sur une flore locale et définir des stratégies d'application, (2) vérifier l'absence de phytotoxicité par effet vapeur en cultures ornementales sous abris. De 2014 à 2015, des réductions de 70 à 95% en moyenne de la population initiale d'adventices ont été obtenues après 2 applications à 14 jours d'intervalle, avec des efficacités maximales de 1 jour à quelques jours après application, équivalentes ou supérieures à la référence de synthèse (glufosinate-ammonium). L'action des produits est limitée sur certains types d'adventices et sur stade avancé et la persistance d'action ne dépasse pas 2 semaines. Aucune phytotoxicité sur les cultures n'a été observée dans nos conditions d'essais.

Mots-clés : herbicide, acide gras, acide pélargonique, acide acétique, alternative.

ABSTRACT

EFFICACY COMPARISON OF NEW ORGANIC HERBICIDES IN ORNAMENTAL CROPS (WITH LOW ENVIRONMENTAL IMPACT)

In ornamental container production, weeds management in non cultivated areas is a great challenge and leads to important economical costs. If mechanical control is widespread in many companies, little efficient solutions are available to keep these areas clean. New organic herbicides, often derived from fatty acids, offer a potential alternative to growers, but more information has to be gathered to guide the use of these products. The objectives of this research were (1) to evaluate the efficacy of currently marketed and products in development, to determine optimal application strategies and (2) to assess the risk of phytotoxicity by steam transfer on a selection of ornamental crops cultivated under tunnel. From 2014 to 2015, treatments led to a diminution of 70-95% of initial weeds population after 14 days time interval. Efficacy was maximum 1 to few days after application and similar or superior to the chemical reference glufosinate-ammonium. Persistence did not go over 2 weeks. Products had little impact on some weeds type/species and were more efficient on young stages. No phytotoxicity on the cultures could be noticed.

Keywords: herbicide, fatty acid, pelargonic acid, acetic acid, alternative.

INTRODUCTION

En France, l'horticulture ornementale représente 1,4% des exploitations agricoles avec 17 500 hectares de production. Elle comprend plusieurs productions spécialisées telles que les fleurs et feuillages coupés, les plantes en pot et massif, les plants de pépinières et les bulbes. Le chiffre d'affaires de la filière horticole française, vente et négoce compris, est d'environ 1,57 milliards d'euros (FranceAgriMer, 2015).

Le désherbage chimique occupe une part importante de l'utilisation des produits phytosanitaires dans la filière agricole, soit 50% en moyenne du NODU usage agricole = Nombre de Doses Unités (DGAL, 2014). Dans les pépinières ornementales du sud-ouest, 50% des traitements (Indice de Fréquence de Traitements = IFT) en 2010 concernaient des herbicides. Cependant, l'utilisation des herbicides est une problématique « brûlante », en raison notamment de leur impact sur la santé (Cravaedi *et al.*, 2007 ; Inserm, 2013) et l'environnement (Isenring, 2010). Rappelons notamment que les herbicides sont responsables de nombreuses pollutions des ressources en eau. En 2013, 21,6 % des points de mesures dans les eaux souterraines et 5% dans les cours d'eau ne respectaient pas les normes de qualité de la directive cadre sur l'eau pour les pesticides, avec une contamination quasi généralisée des eaux de surface et une rémanence de certaines substances actives interdites depuis de nombreuses années (Agences de l'eau, offices de l'eau ; 2014, 2015, sur <http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr>).

De nombreuses mesures et plans d'action ont été adoptés depuis les années 2000, conduisant à une réduction drastique du nombre de substances actives autorisées et un encadrement strict de leur usage (vague de retrait à l'échéance 2003 du marché européen de 43% et du marché français de 19% des substances actives identifiées au niveau européen au 02/10/2012, données internes ; 199 sur 332 substances actives herbicides enregistrées non (ré)approuvées au niveau européen au 03/10/2016, source EU Pesticides Database). Pour autant, le recours aux herbicides en agriculture a progressé de 2008 à 2013, avec néanmoins des disparités entre les filières (DGAL, 2014 ; MAAF, 2014). En pépinière, l'IFT au sein du réseau DEPHY FERME sud-ouest en pépinière a ainsi été réduit de plus de 63% entre 2010 et 2014.

Cependant, au sein de ce contexte en pleine évolution, les entreprises horticoles sont soumises à des contraintes croissantes : efficacité des produits homologués et nombre de matières actives en diminution (plus qu'une douzaine en pépinière ornementale), développement de résistances chez les adventices, coût de main d'œuvre en désherbage importants. En cultures ornementales sous serre, les adventices peuvent être sources de contaminations en ravageurs et maladies et doivent être éliminées. L'utilisation d'herbicides pour le désherbage sous tablettes de culture ou des allées, principalement à base de glyphosate, pose néanmoins souvent des soucis de sélectivité sur les cultures (effet vapeur), nécessitant un délai de plusieurs semaines avant la remise en culture. Par ailleurs, le risque de toxicité pour le personnel sous abris, en milieu confiné, peut être accru. En pépinière hors-sol, également, les abords des aires de culture et allées sont des sources importantes de mauvaises herbes, qui peuvent impacter la croissance des cultures. Or, le retrait récent des produits de référence à base de glufosinate-ammonium a engendré une impasse technico-économique pour la gestion de ces surfaces. Astredhor Sud-Ouest GIE Fleurs et Plantes mène, depuis plus de 10 ans, des essais en station d'expérimentation sur les alternatives au désherbage conventionnel en pépinière, afin de réduire l'emploi des herbicides dans les systèmes de culture. Depuis quelques années, une nouvelle gamme d'herbicides, de synthèse ou d'origine naturelle, à faible impact environnemental, a fait son apparition sur le marché. En effet, il s'agit d'herbicide à base de molécules contenues naturellement dans des plantes ou alors sécrétées par leurs racines (allélopathie). La plupart de ces molécules agissent sur les adventices par contact, mais certaines molécules ont des modes d'action biochimiques comme certaines molécules de synthèse. A titre d'exemple, *Croton ciliatoglanduliferus* Ort. produit des diterpènes possédant des propriétés d'inhibiteurs de la photosynthèse (Morales-Florès *et al.*, 2013). D'autres molécules comme la sarmantine issue de *Piper longum* L. (Huang *et al.*, 2010) ou l'acide pélargonique extrait du géranium (Lederer *et al.*, 2004 ; Coleman et Penner, 2008), ont pour effet de déstabiliser la structure des cuticules et des membranes des feuilles. Certains microorganismes,

également, sont capables de produire ce type de molécules : inhibiteurs de la biosynthèse d'acides aminés comme le L-phosphinothricin issu de *Streptomyces* sp. (Lydon et Duke, 1999), indoles (5-Methyltryptophane) par exemple chez *Cantharellus cibarius* (Muszyńska *et al.*, 2013).

Cependant, l'offre actuelle en désherbants d'origine naturelle ou « bio-herbicides » est encore limitée en Europe et les produits disponibles, principalement à base d'acides gras (acide pélargonique), peu utilisés. Ces produits sont testés depuis 3 ans à Astredhor Sud-Ouest dans le cadre d'un programme régional pluri-annuel, afin d'acquérir des données sur leur efficacité et modes d'action.

MATERIEL ET MÉTHODE

Les deux premières années d'expérimentation ont consisté à évaluer l'efficacité de préparations commercialisées ou en cours d'homologation sur une flore locale, et à déterminer des stratégies d'application pour les produits les plus efficaces. En 3ème année, la sélectivité indirecte (phytotoxicité par effet vapeur) a été testée sur une gamme de plantes horticoles.

ESSAI D'EFFICACITE (ANNEES 1-2)

L'essai a été conduit sous abris (tunnel plastique) de la station expérimentale (Villeneuve d'Ornon - 33). 5 adventices principales, les plus courantes parmi les espèces problématiques sur les abords de culture hors-sol, ont été ciblées : *Senecio vulgaris* L., *Cardamine hirsuta* L., *Erigeron canadensis* L., *Poa annua* L. et *Epilobium tetragonum* L..

L'irrigation est réalisée à l'eau claire par micro-aspersion (7-10mm par jour en moyenne). Les traitements sont effectués à l'aide d'un pulvérisateur ATH, avec compresseur électrique agréé pour les Bonnes Pratiques d'Expérimentation, muni d'une rampe d'épandage avec 1-4 buses à fente. Un enregistrement des paramètres climatiques (température du sol et de l'air, humidité de l'air) est réalisé pendant la durée de l'essai à l'aide de sondes climatique TESTO.

L'essai a été aménagé selon un dispositif en blocs de Fisher, à 3 répétitions, comportant 6 modalités (Tab. 1) et un témoin non traité, inclus, répété 4 fois. Pour chaque répétition, 1 parcelle de 1 m² a été délimitée et 3 placettes (19x23 cm) identifiées/parcelle.

Année 1

Le sol a été enrichi en surface avec un mélange de terre prélevé dans une pépinière locale et représentatif de la flore présente sur les abords des serres et parcelles des entreprises du sud-ouest (02/04/2014). Les quantités apportées ont été déterminées afin d'obtenir une densité d'adventices adaptée (1000 adventices/m² environ, d'après test de germination en terrine).

Les produits ont initialement été classés en deux groupes : groupe 1 = produits homologués d'efficacité connue, groupe 2 = produits en développement. Les modalités de ces 2 groupes ont été randomisées de manière séparée dans le tunnel, afin de créer 2 sous-essais gérés indépendamment. Suite aux premiers traitements, les groupes ont été abandonnés en raison de modes d'action proches.

Année 2

En raison d'un développement non souhaité de vivaces en cours d'essai en année 1, un semis contrôlé des adventices a été réalisé en 2015 (28/05/2015), à partir de graines récoltées en 2014 à la station pour *S. vulgaris*, *C. hirsuta*, *E. canadensis* et *E. tetragonum*. Pour *P. annua*, les graines ont été fournies par B&T World Seeds.

Tableau 1 : Détails des modalités expérimentales
(Details of the trial's modalities)

modalité	M1	M2	M3	M4	M5	M6
Nom du produit	Référence : Basta F1	Devatol	Finalsan Ultima -	Naturen Express	Produit A*	Produit B*
Concentration Matière Active	Glufosinate ammonium 150 g/L	Acide pélargonique 186.7 g/L	Acide pélargonique 186.7 g/L + Hydrazide maléique 30. g/L	Acide acétique 60. g/L	Acide pélargonique	Acide gras
Fournisseur	Bayer SAS	Bayer SAS	COMPO France	SCOTTS France	Firme A	Firme B
Groupe d'applications	1	1	1	1	2	2
Dose d'emploi (L/ha)	5	166	166	1000	Dose A	Dose B
Volume bouillie (L/ha)	1000 (2014) 800 (2015)				280	800
Année essai	2014-2016				2014	2014-2016

* Produit A et produit B non homologués

Stratégies de traitement : les produits ont été appliqués préférentiellement sur jeunes adventices en croissance (stade BBCH 11 à 19, < 10cm). En année 1, le 1^{er} traitement a été déclenché après levée des 5 adventices d'intérêt. En année 2, la 1^{ère} application a eu lieu dès lors que certaines espèces atteignaient un stade de développement charnière (plusieurs paires de feuilles développées pour les dicotylédones et avant tallage pour P. annua). Les applications ont été renouvelées après 14 jours en moyenne, en fonction de la recolonisation des bacs et du stade de développement des nouvelles levées.

Observations réalisées : les observations ont été conduites selon la méthode CEB (Commission des Essais Biologiques) « M232 Désherbage des pépinières en pleine terre » et concernaient :

- inventaire des adventices dans les témoins
- effectifs : nombre d'adventices par placette (5 espèces majoritaires + catégorie autres)
- stades physiologiques de développement (cotylédon à sénescence)
- % phytotoxicité sur organes aériens (estimation visuelle en proportion du témoin) + type de symptômes
- % recouvrement/espèce d'intérêt + recouvrement total (estimation visuelle)

A partir des données d'effectifs, un effectif relatif moyen (efficacité relative) a été calculé par modalité par rapport à T0, selon la formule suivante (i = numéro de modalité et x = temps après T0) :

$$\text{Effectif relatif} = \frac{\text{effectif Tx Modalité Mi} - \text{effectif T0 Modalité Mi}}{\text{effectif T0 Modalité Mi}} * 100$$

L'effectif relatif permet de mesurer la mortalité des adventices au cours du temps.

Fréquence de mesure : T0, T+3h (2014), T+1, T+4 (2015), T+7, T+14 jours après application. Avant chaque nouvelle application, une notation initiale est reconduite.

ESSAI DE SELECTIVITE (ANNEE 3)

En 2016, le risque de phytotoxicité indirecte par effet vapeur est évalué sur une gamme de plantes horticoles fleuries (*Pelargonium x peltatum* 'Decora Imperial'(L.) L'Hér., *Petunia x hybrida* LA SIGNORA®'Magic Red', *Pollenis maritima* 'Paladio'(L.) Greuter, *Begonia x hybrida*, *Fuchsia x hybrida*,

Helichrysum italicum (Roth) G.Don, *Lantana camara* L. variétés en mélange, *Scaevola aemula* Whirlwind® 'Pink'(R.Br.) et arbustives (*Choisya ternata* (Kunth), *Elaeagnus × submacrophylla* 'Ebbingei' Servett, *Photinia × fraseri* 'Red Robin' (Dress), *Pittosporum tobira* (Thunb.) W.T.Aiton, *Rosa × polyantha* 'The Fairy').

Dispositif expérimental : les produits ayant été retenus en année 2 sont testés dans un dispositif aléatoire simple sans répétition (15 plantes/espèce horticole et 5 plante/arbuste de pépinière), à la dose N et 2N. Pour chaque dose, les traitements sont répétés 2 fois à 14 jours d'intervalle pour tester l'effet du climat (T°C).

Méthode : les plantes horticoles cultivées en pots de 10,5cm sont placées sur tablettes grillagées en plaques et les plantes de pépinière en pots de 3L au sol par espèce en lignes distantes de 30cm. Les traitements sont effectués avec un pulvérisateur muni d'un cache : sous les tablettes dans le 1^{er} cas et autour des plantes dans le second. L'essai comprend également un témoin non traité (TNT). Chaque modalité est cloisonnée à chaque extrémité à l'aide d'une bâche plastique (200 microns) pour éviter les transferts éventuels de produits par l'air.

La présence et le type de phytotoxicité sur la culture est estimée par comparaison avec le TNT.

Fréquence de mesure : T0, T+1, T+3, T+7 jours après application

Traitements statistiques

Les données sont analysées à l'aide du logiciel R version 2.14.1. Pour tous les tests statistiques réalisés, le risque de première espèce alpha est fixé à 5%.

En raison d'hétérogénéités importantes (année 1 notamment) observées dans l'essai, des analyses descriptives sont principalement conduites. Les données d'effectifs sont comparées à l'aide d'une ANOVA (analyse de variance) ou d'un test de Kruskal-Wallis. Les pourcentages de recouvrement sont analysés avec un test de χ^2 .

Les comptes-rendus annuels détaillés par année sont disponibles auprès des auteurs.

RESULTATS

ANNEE 1

En 2014, l'essai a été répété deux fois, en raison d'efficacités très faibles lors des 1^{ères} applications.

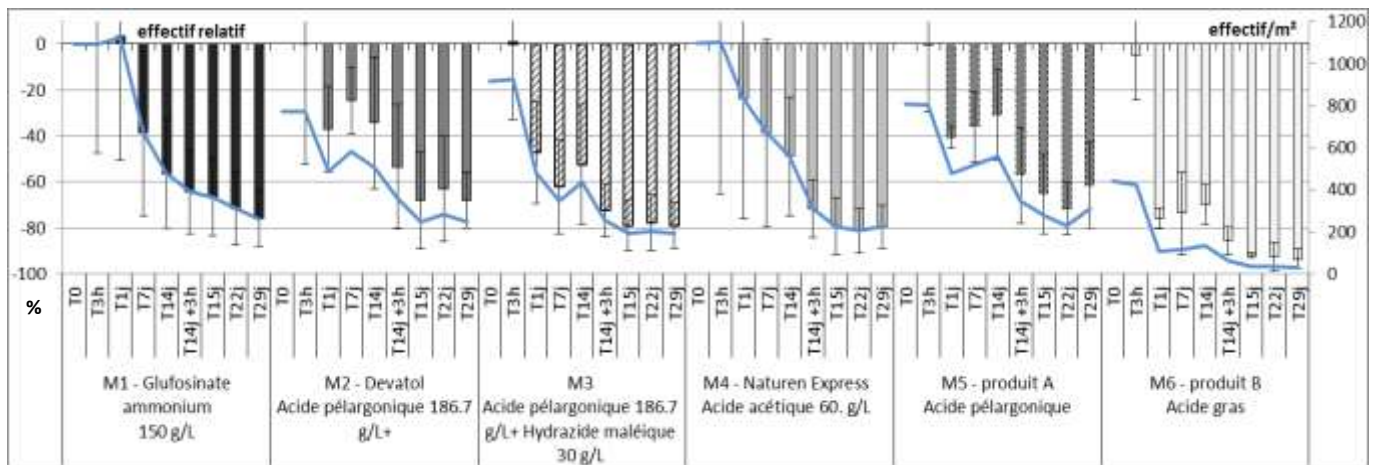
Résultats préliminaires

Lors du 1^{er} traitement, certaines espèces adventices à germination rapide avaient déjà atteint un stade de développement avancé (proche BBCH 19). Les résultats ont montré l'influence de différents facteurs sur l'action des produits testés : qualité de la pulvérisation (couverture, homogénéité), stade physiologique des adventices, concentration des matières actives dans la bouillie (avec le produit A notamment). Le facteur « stade » au moment du traitement est apparu comme prépondérant sur les efficacités observées.

2^{ème} série de traitements

Suite à l'inventaire réalisé sur les témoins non traités (données non présentées), les espèces d'adventices présentes sont conformes aux objectifs. En début d'essai, les effectifs varient entre 1100 et 440 adventices/m² suivant les modalités. Des résultats intéressants, équivalents voire supérieurs au témoin chimique, sont obtenus avec l'ensemble des produits, qui permettent de réduire la population initiale d'adventices de 70 à 95% après 2 applications (Fig. 1).

Figure 1 : Evolution de l'effectif relatif moyen par modalité +/- écart-type et des effectifs moyens d'adventices par m²
 (Evolution of relative infestation per modality +/- standard deviation and mean number of weeds per m²)



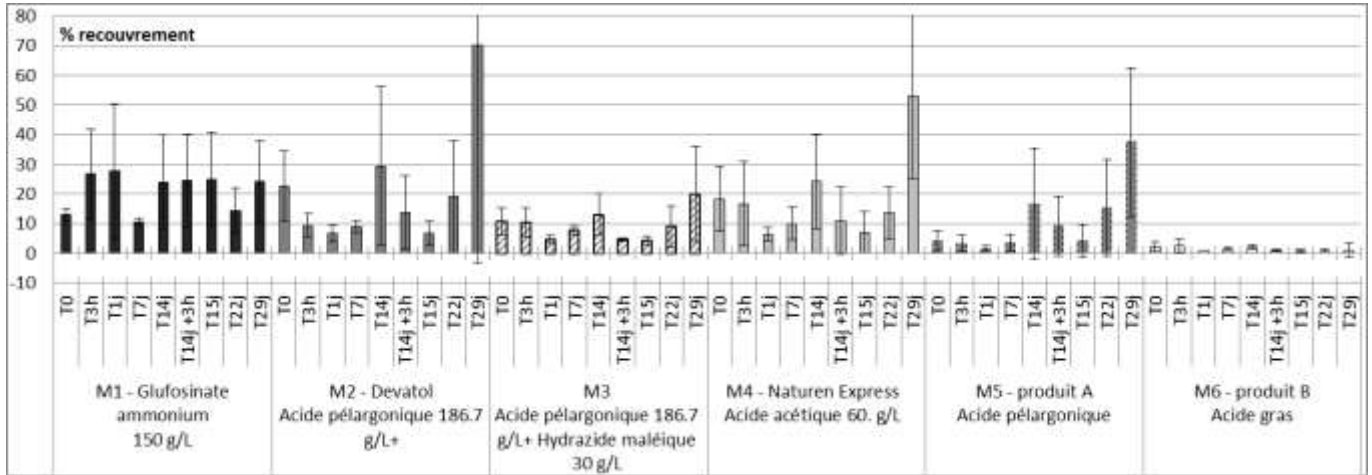
Pour le glufosinate ammonium, l'efficacité ne s'exprime qu'après plusieurs jours. 14 jours après traitement, on note une réduction >75% de la population initiale d'adventices. L'action des produits alternatifs est déjà visible après quelques heures. Pour les modalités 2, 3 et 5 à base d'acide pélargonique, on observe une mortalité proche de 40% à T+1 jour. Le produit Finalsan Ultima (M3) permet d'atteindre une efficacité relative supérieure au produit Devatol (> de 35% à T+7 jours) et M5, malgré une pression initiale plus importante. L'action est plus durable, avec une baisse des effectifs jusqu'à T+7 jours, contrairement aux 2 autres produits où l'effectif réaugmente après quelques jours, du fait de nouvelles levées. M6, qui présente la pression initiale la plus faible, permet d'atteindre un effectif minimal en fin d'essai. L'action des produits alternatifs est déjà visible après quelques heures. Pour les modalités 2, 3 et 5 à base d'acide pélargonique, on observe une mortalité proche de 40% à T+1 jour. Le Finalsan Ultima (M3) permet d'atteindre une efficacité relative supérieure à celle du Devatol (> de 35% à T+7 jours) et à celle au produit A, malgré une pression initiale plus importante. L'action est plus durable, avec une baisse des effectifs jusqu'à T+7 jours, contrairement aux 2 autres produits où l'effectif réaugmente après quelques jours, du fait de nouvelles levées. L'efficacité relative est la plus forte avec le produit B, avec cependant une pression initiale la plus faible. Ces résultats sont confortés par les données de recouvrement (Fig. 2). L'action des différents produits sur les organes végétatifs des adventices (non présentée ici) entraîne une chute du recouvrement après traitement. Elle se traduit par un jaunissement du limbe des adventices suivi d'une nécrose chez la référence de synthèse, 1 semaine après traitement.

Le glufosinate-ammonium permet de maintenir un recouvrement moyen de 25% sur une période d'un mois. On note cependant que certaines adventices (pâturin, cardamine) continuent à se développer malgré les traitements. Pour les autres produits, les symptômes se manifestent par des blanchiments du limbe et/ou un aspect vitreux des cellules touchées, suivis d'une nécrose des tissus et d'un flétrissement. L'efficacité est maximale à T+1 jour, entraînant une baisse du recouvrement. Chez certaines adventices partiellement touchées ou moins impactées, un redémarrage de la base ou une formation de nouveaux organes sont observés après quelques jours.

En fin d'essai, on constate une forte augmentation du recouvrement par rapport à T0 pour certains produits, notamment chez le produit Devatol (70% à T+29). Le produit Finalsan Ultima (M3) permet de maintenir un recouvrement acceptable, comparable à la référence de synthèse M1. Chez le produit M6, le recouvrement ne dépasse pas 2,5% en fin d'essai, ce qui est en partie dû à une pression initiale plus faible. Pour l'ensemble des modalités, les adventices les moins impactées par les 2 traitements (graminées, vivaces/bisannuelles à rosette) continuent de se développer et les levées se poursuivent.

On assiste à une inversion de flore, également marquée par le développement préférentiel de souchet (*Cyperus esculentus* L.) dans toutes les modalités, qui envahit les bacs.

Figure 2 : Evolution du recouvrement moyen par transect par modalité +- écart-type (Evolution of mean soil cover per plot per modality+- standard deviation)

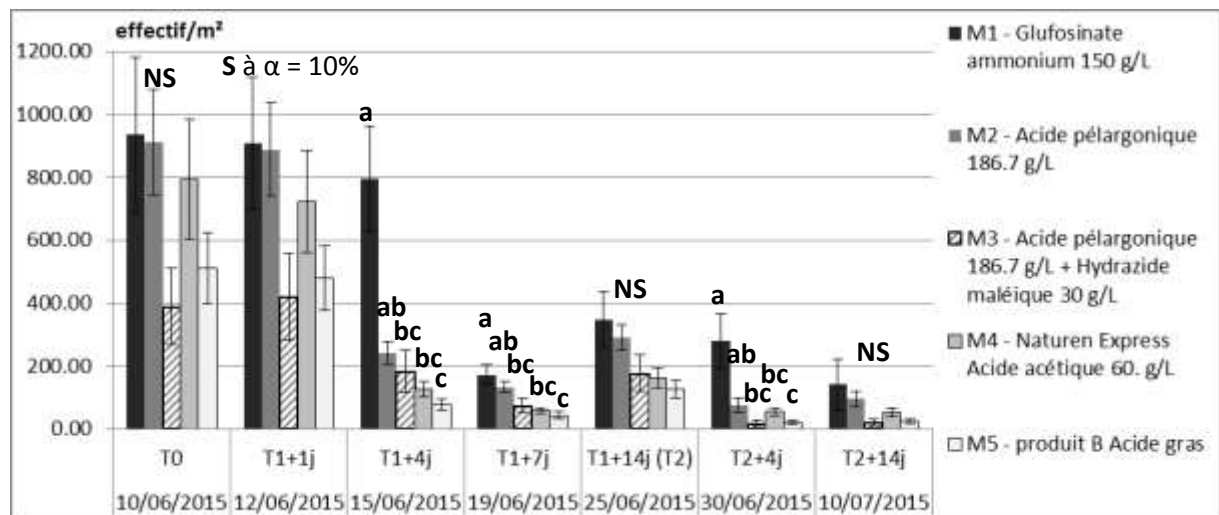


ANNEE 2

L'inventaire dans les témoins non traités (données non présentées) a montré une population diversifiée (>20 espèces), représentative de la flore locale. Malgré un semis contrôlé des adventices, on observe encore des niveaux d'infestation hétérogènes, d'intensité comparable à 2014 (Fig. 3), qui permettent de classer les modalités (M1, M2 et M4 avec la pression la plus forte). Ces différences sont conservées pendant tout l'essai et se répercutent sur les résultats d'efficacité.

Il est à noter que la modalité 5 testée en 2014 a été abandonnée, suite à une demande de la firme.

Figure 3 : Evolution de l'effectif moyen d'adventices par modalité +- erreur standard (Evolution of mean number of weeds per m² +- standard error)



En fin d'essai, on obtient une réduction importante, de 85 à 95% de la population initiale d'adventices, quel que soit le produit testé (Fig. 4). On observe des différences d'effectifs significatives à 4 jours ($K-W = 24.0938$, $ddl = 4$, $p-v = 7.649 \times 10^{-5}$) et à 7 jours ($K-W = 18.541$, $ddl = 4$, $p-v = 9.671 \times 10^{-4}$) après le 1^{er} traitement T1, puis 4 jours après le 2^{ème} traitement ($K-W = 22.9662$, $ddl = 4$, $p-v = 1.286 \times 10^{-4}$), entre la

référence de synthèse et les autres produits, mais aussi entre produits. Contrairement à 2014, on note une recontamination rapide sur certaines parcelles chez M1 suite au 1^{er} traitement, ce qui se traduit par un recouvrement plus important (Fig. 5). En particulier, les cardamines sont peu impactées par le glufosinate-ammonium. Dans les autres modalités, la population d'adventices ne cesse de chuter, avec une mortalité importante quelques jours après traitement. Chez le produit Finalsan Ultima (M3) et M5, le recouvrement est minimal et significativement inférieur 4 jours après traitement ($X^2 = 69.0789$, ddl = 28, p-v = 2.5×10^{-5} et $X^2 = 53.2318$, ddl = 28, p-v = 2.755×10^{-3} respectivement). A T1+14 jours, le recouvrement a retrouvé son niveau initial et les différences entre modalités sont non significatives. L'augmentation du recouvrement une semaine après chaque traitement est le fait de quelques adventices qui ont atteint des stades plus avancés et à une inversion de flore, avec un développement préférentiel de graminées et de plantes à rosettes (dont érigéron). Comme en 2014, M3 et M5 permettent de maintenir des niveaux de salissements acceptables, inférieurs à 10%. En lien avec la pression initiale dans chaque modalité, les résultats en fin d'essai sont équivalents voire supérieurs au témoin de synthèse.

Figure 4 : Evolution de l'effectif relatif moyen par modalité +/- erreur standard (Evolution of relative infestation per modality +/- standard error)

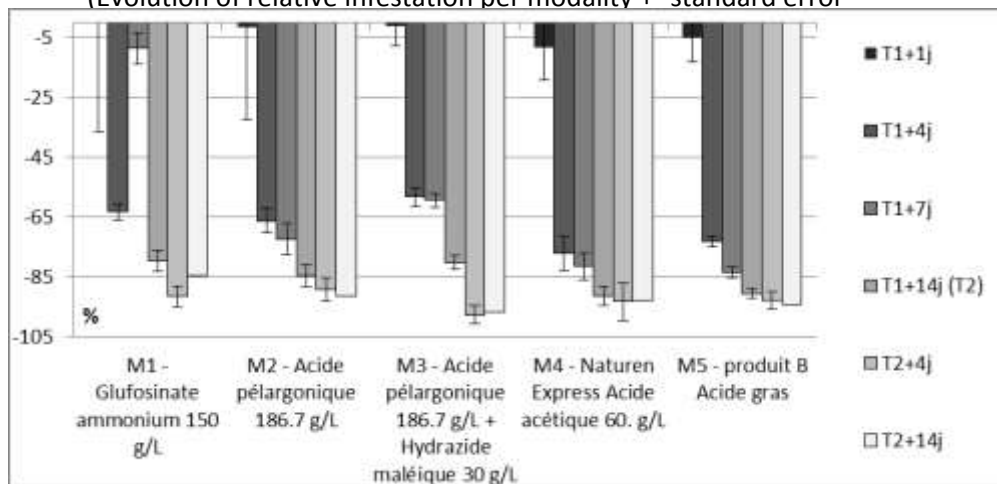
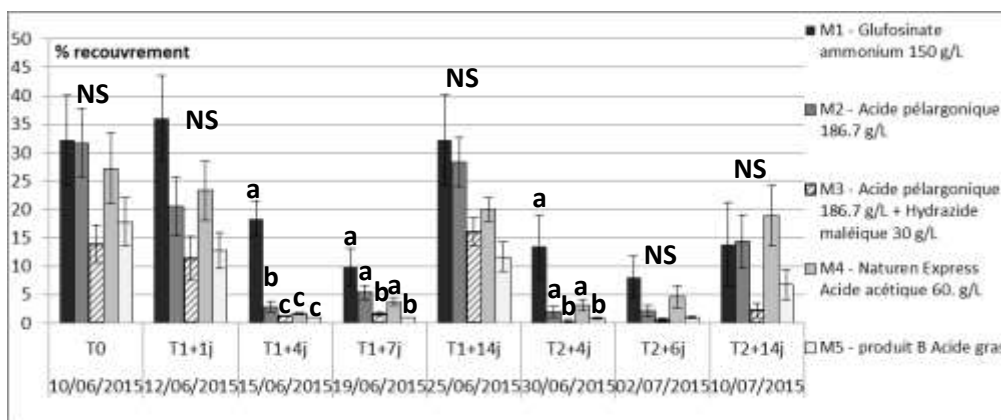


Figure 5 : Evolution du recouvrement moyen par transect par modalité +/- erreur standard (Evolution of mean soil cover per plot per modality +/- standard error)



ANNEE 3

Le risque de phytotoxicité par effet vapeur est en cours d'évaluation sur la gamme ornementale définie. D'après les 1ers résultats, aucun symptôme de phytotoxicité par effet vapeur n'a été observé

aux doses N et 2N pour l'ensemble des modalités, y compris à fortes températures (>35°C) et en présence de vent.

DISCUSSION

Les trois années d'essai ont permis d'acquérir des références techniques sur l'utilisation d'herbicides alternatifs aux produits de synthèse de type acides gras (bio-herbicides), pour lutter contre la flore caractéristique des abords et allées de culture présente dans les exploitations de production horticole du sud-ouest.

Dans un premier temps, la difficulté d'obtenir des niveaux d'infestation homogènes a été mise en évidence dans nos conditions d'essai, malgré un ensemencement artificiel des parcelles en année 2. Cela peut s'expliquer en partie par l'existence d'un stock semencier important dans les parcelles de prélèvement de la terre de pépinière contaminée (2014) et d'essai, avec des variations spatiales du niveau de contamination et des espèces d'adventices présentes. La méthodologie d'inoculation employée a également dû influencer sur les résultats. En année 1, la nature limoneuse de la terre des abords de parcelles hors-sol de pépinière et son degré d'humidité au moment du prélèvement ont compliqué son mélange avant inoculation. En 2015, les graines d'adventices ont été mélangées avec une faible quantité de sable de rivière pour faciliter l'apport. Malgré un brassage important du mélange, des variations intra-parcellaires ont été observées, avec des levées par foyers, exacerbant les différences entre sous-parcelles observées.

Les différents produits testés ont montré des efficacités intéressantes dans nos conditions expérimentales sous abris. Des réductions de 70 à 95% en moyenne de la population initiale d'adventices ont été obtenues après 2 applications à 14 jours d'intervalle, avec des efficacités équivalentes voir supérieures à la référence de synthèse. En année 1, le produit Devatol avait montré une efficacité un peu inférieure aux autres produits, notamment au produit Finalsan Ultima. Cela peut s'expliquer par l'action anti-germinative de ce dernier, qui permet un contrôle complémentaire au fur et à mesure des levées. Cet effet peut également se retrouver chez l'acide acétique, comme souligné par Evans *et al.* (2011), chez qui la germination dans les parcelles traitées était inférieure de 75% par rapport à un témoin désherbé manuellement 2 semaines après traitement. En année 2, les efficacités sont comparables entre les différentes modalités. Le produit Finalsan Ultima et le produit B (à base d'acide gras) permettent d'atteindre un niveau de salissement très acceptable.

Des résultats similaires ont été obtenus dans d'autres études, mais les efficacités sont variables suivant les auteurs : efficacités globales proches de 90% avec 2 acides gras (Duval et Hebbinckuys, 2012), efficacités dose dépendantes sur dicotylédones de 66 à 94% à 16.81 kg/ha d'acide pélargonique (Webber *et al.*, 2014a,b) et de 96% avec du d-limonène (Lanini *et al.*, 2010). Il en est de même pour l'acide acétique, la littérature nous donne des niveaux d'efficacité différents : faible contrôle des adventices à 800 à 1000L/ha avec 2 applications à 21 jours d'acide acétique 20 (Duval et Hebbinckuys, 2012), efficacité moyenne (Main *et al.*, 2013) à élevée, jusqu'à > 80% chez (Ivany JA, 2010) avec le produit Ecoclear à 30% d'acide acétique; 96-100% chez Evans *et al.* (2011) avec 1 traitement à 700L/ha de vinaigre à 20%. Pour autant, il est important de constater que les quantités de substances actives appliquées par unité de surface sont très variables suivant les études et restent souvent inférieures à celles testées dans notre essai. Les formulations également peuvent varier, les produits testés pouvant être des produits domestiques ou non formulés.

Contrairement au glufosinate-ammonium qui agit au bout d'une semaine (inhibition progressive de la photorespiration des chloroplastes), la majorité de ces herbicides sont des produits de contact strict, non sélectifs, à action rapide : quelques heures-jours, avec une efficacité maximale autour de 1 jour après traitement (Astredhor Sud-Ouest, 2014 ; Evans *et al.*, 2011 ; Webber *et al.*, 2014a,b). En détruisant la cuticule des feuilles et les membranes cellulaires, ils provoquent un dessèchement puis une mort des organes touchés. Aussi, nous avons pu mettre en évidence un certain nombre de limites et de contraintes à l'utilisation de ce type de produits, en lien étroit les uns avec les autres :

- *Stade de développement des adventices*

Le stade physiologique au moment du traitement est prépondérant et impacte significativement l'efficacité du produit, ce qui a été souligné dans la majorité des études (Webber *et al.*, 2012 ; Webber *et al.* 2014b). Abouzienna *et al.* (2009) ont ainsi montré qu'une application au stade 4-6 paires de feuilles réduisait l'efficacité de l'acide acétique par rapport au stade 2-4 paires de feuilles. En effet, les adventices déjà développées possèdent des tissus lignifiés et ne sont que partiellement impactées. Elles sont capables de redémarrer de la base ou de la tige à partir de bourgeons, ce qui a été le cas lors de nos essais préliminaires en 2014.

- *Qualité de la pulvérisation*

La couverture de la cible par le produit doit être maximale et la plus homogène possible, pour obtenir l'efficacité de contact escomptée. En année 1, la présence d'adventices plus développées a engendré un effet « parapluie », conduisant à une baisse d'efficacité sur les strates inférieures. Nous avons ainsi mis en évidence qu'en cas de pression plus importante, toutes les adventices ne sont pas impactées, ce qui conduit à un re-salissement plus rapide des parcelles. Aussi, il est important d'utiliser un volume de bouillie suffisant et adapté à chaque situation. Ivany JA (2010) a par exemple étudié l'effet du volume de bouillie sur l'efficacité de l'acide acétique et obtenu une efficacité 5 fois supérieure à 800 L/ha par rapport à de 200 L/ha.

- *Espèces/types d'adventices*

Pendant les deux années d'essai, des différences de sensibilité importantes ont pu être mises en évidence entre adventices. Les graminées (patûrin annuel, digitales, panic) et certaines typologies d'adventices (rosette, feuille érigée ou cireuse : érigéron du Canada, cardamine), qui possèdent un méristème protégé au ras du sol ou des organes de réserve, ont été moins impactées, d'autant plus que le stade de développement était avancé. Une inversion de flore a ainsi été observée dès un mois après la mise en place des essais, avec un développement incontrôlé de souchet comestible en année 1, peu affecté par les traitements. D'après Webber *et al.* (2012), les dicotylédones et les adventices annuelles sont plus faciles à maîtriser. Webber *et al.* (2014b) ont en effet obtenu des efficacités limitées de 56% et 33% sur digitale et souchet comestible 1 jour après traitement à 16.81 kg/ha d'acide pélargonique. Chez Abouzienna *et al.* (2009) et Brainard *et al.* (2013) également, l'acide acétique n'a eu qu'une action limitée sur graminées annuelles et certaines dicotylédones (amaranthe, chénopode).

- *Concentration de la matière active.* En 2014, la diminution du volume de bouillie a ainsi permis d'augmenter l'efficacité du produit A. D'après Weber *et al.* (2012), l'acide pélargonique fournit de bons résultats à faible volume. Dans de nombreuses études, les meilleurs résultats obtenus à plus forte concentration sont en fait liés à une augmentation de la dose à volume de traitement égal. Cet effet dose est particulièrement marqué pour l'acide acétique. Souvent une concentration minimale de 20% est nécessaire pour obtenir une certaine efficacité (Ivany JA, 2010 ; Evans *et al.*, 2011).

- *Persistance d'action*

Une recontamination des parcelles par la flore a été constatée à partir de 10-14 jours en moyenne après traitement. Chez le produit Devatol et le produit A en année 1, la persistance d'action a été plus faible, avec un développement de nouvelles adventices quelques jours déjà après traitement. En 2015, ce constat n'a pas été vérifié.

L'effet des conditions climatiques (T°C, HR) lors du traitement n'a pas pu être démontré pendant les deux premières années d'essai. En revanche, chez Brainard *et al.* (2013), une humidité relative plus importante a amélioré l'efficacité de l'acide acétique sur la moutarde brune. Cela peut s'expliquer par une meilleure réceptivité des adventices en conditions climatiques favorables.

Les différences d'efficacité entre produits peuvent également être liées à la formulation et la nature des co-formulants. En effet, Coleman *et al.* (2008) ont montré que certains émulsifiants pouvaient améliorer l'efficacité de l'acide pélargonique jusqu'à 200% en conditions contrôlées. L'association des acides gras avec d'autres matières actives comme le glyphosate à concentration réduite constitue un

autre axe d'étude. Des résultats intéressants ont été observés sur liseron notamment, avec une persistance d'action supérieure aux acides gras seuls (Astredhor Sud-Ouest, 2015). La synergie de ces 2 substances actives et donc la pertinence de ce type de mélange est cependant soumise à controverse. En effet, l'efficacité n'est pas nécessairement améliorée comparé à du glyphosate seul (Wehtje *et al.*, 2009).

En ce qui concerne le risque de phytotoxicité sur les cultures horticoles, aucune phytotoxicité par effet vapeur n'a été démontré à la dose homologuée et à double dose dans nos conditions expérimentales pour l'ensemble des modalités testées. Dans plusieurs études, des dégâts significatifs ont été mesurés sur les cultures : jusqu'à 13,8% de dégâts sur poivron 1 jour après traitement (Webber *et al.*, 2014b) et 12,5% sur *Cucurbita pepo* L. (Webber *et al.*, 2014a) à 16.81 kg/ha d'acide pélargonique, dégâts sur tige sur poivron 2 semaines après une application d'acide acétique localisée sur le rang avec une forte diminution du rendement (Evans *et al.*, 2011) . Cependant, les dégâts sont à mettre en parallèle avec la technique d'application. En cultures hors-sol, le désherbage des surfaces non cultivées est effectué en localisé (cache). En l'absence de contact direct avec la culture, les risques paraissent donc limités. Pour autant, l'absence de phytotoxicité reste à confirmer sur une gamme horticole élargie.

CONCLUSION

Les herbicides de nouvelle génération testés ont montré des résultats prometteurs, mais ne répondent qu'en partie à l'impasse à laquelle sont confrontés les professionnels pépiniéristes et horticulteurs. En effet, leur spectre d'action est plus restreint et leur persistance d'action plus courte. Ils nécessitent par ailleurs un monitoring plus précis de la situation sanitaire à la parcelle pour évaluer les espèces présentes et leur stade. Comparé aux herbicides conventionnels, les pratiques et techniques de pulvérisation doivent être adaptées, avec des cadences de traitement plus resserrées (toutes les 2 semaines en moyenne), pour maintenir une pression acceptable. Par ailleurs, le coût reste nettement supérieur aux produits conventionnels de synthèse (à titre indicatif, coût hectare/traitement 20-40 fois plus important en cultures ornementales pour les produits testés aux doses homologuées), en lien avec des quantités importantes de substances actives apportées. Or, les abords de cultures en hors-sol représentant en moyenne 30% de la surface d'une exploitation horticole, cela impacte fortement le coût de la lutte. Face à l'augmentation des cas de résistance chez certaines espèces d'adventices présentes sur ces surfaces (*C. hirsuta*, *P. annua*, *C. esculentus* au glufosinate-ammonium, *E. tetragonum* au glyphosate), les différents bio-herbicides testés peuvent être intégrés dans une stratégie globale de désherbage en complément d'herbicides anti-germinatifs par exemple, afin de réduire l'usage des produits conventionnels. Ils offrent également de nouvelles perspectives pour le désherbage des surfaces non cultivées sous abris. De part leur profil toxicologique souvent moins impactant sur la santé et l'environnement, ils limitent les risques pour l'applicateur et facilitent la ré-entrée sur les parcelles traitées.

BIBLIOGRAPHIE

- Abouziena HFH, Omar AAM, Sharma SD, Singh M (2009). Efficacy comparison of some new natural-product herbicides for weed control at two growth stages. *Weed Technology* 23 (3) : 431-437
- Brainard D.C., Curran W.S., Bellinder R.R., Ngouajio M., VanGessel M.J., Haar M.J., Lanini W.T., Masiunas J.B. (2013). Temperature and relative humidity affect weed response to vinegar and clove oil based herbicides. *Weed Technology* 27: 156-164.
- Coleman R., Penner D. (2008). Organic Acid Enhancement of Pelargonic Acid. *Weed Technology* 22 : 38-41
- Cravedi J.P., Zalko D., Savouret J.F., Menuet A., Jégou B. (2007). Le concept de perturbation endocrinienne et la santé humaine. *Médecine/Sciences* 23 : 198-204
- Direction générale de l'alimentation du ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt, Note de suivi 2014 du Plan Ecophyto, Tendances du recours aux produits phytosanitaires de

- 2008 à 2013, décembre 2014, 22 pp., consultable sur http://agriculture.gouv.fr/sites/minagri/files/documents/pdf/Note_de_Suivi_Ecophyto_2014_cle05a461.pdf
- Droui A. (2014). Contrôle alternatif des adventices sous abris : produits à faible impact environnemental. Compte-rendu d'essai ASTREDHOR SUD-OUEST, 25 pp.
 - Duval C., Hebbinckuys T. (2012). Efficacité d'herbicides de contact naturels. Compte-rendu d'essai ASTREDHOR LOIRE-BRETAGNE, 11 pp.
 - Evans G.J., Bellinder R.R., Hahn R.R. (2011). Integration of Vinegar for In-Row Weed Control in Transplanted Bell Pepper and Broccoli. *Weed Technology* 25 (3) : 459-465.
 - Huang H., Morgan C.M., Asolkar R.N., Koivunen M.E., Marrone P.G. (2010). Phytotoxicity of sarmentine isolated from long pepper (*Piper longum*) fruit. *Journal of agricultural and food chemistry* 58; 9994-10000
 - Inserm (dir.). Pesticides : Effets sur la santé. Rapport. Paris : Inserm, 2013, XII-1001 pp - (Expertise collective). - <http://www.ipubli.inserm.fr/handle/10608/4820#sthash.eSxsKdha.dpuf>
 - Isenring R. (2010). Les pesticides et la perte de biodiversité. Pesticide Action Network Europe, Mars 2010, 31 pp.
 - Ivany JA (2010). Acetic acid for weed control in potato (*Solanum tuberosum* L.). *Revue canadienne de phytotechnie* 90 (4) : 537-542
 - Lanini W.T., Capps L., Roncoroni J.A. (2010). Field testing of organic herbicides. Proceedings of the Western Society of Weed Science. Waikoloa, Hawaii, USA. March 2010. 63:13.
 - Lederer B., Fujimori T., Tsujino Y., Wakabayashi K., Böger P. (2004). Phytotoxic activity of middle-chain fatty acids II: peroxidation and membrane effects. *Pesticide Biochemistry and Physiology* 80 : 153-156.
 - Lydon J., Duke S. (1999). Inhibitors of glutamine biosynthesis. Livre: *Plant Amino Acids: Biochemistry and Biotechnology*. Singh B. K. 445-464
 - Main D.C., Sanderson K.R., Fillmore S.A.E., Ivany J.A. (2013). Comparison of synthetic and organic herbicides applied banded for weed control in carrots (*Daucus carota* L.). *Revue canadienne de phytotechnie* 93 (5): 857-861.
 - Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt. Recours aux produits phytosanitaires : Résultats nationaux pour l'année 2013, Communiqué de presse, 22/12/2014.
 - Morales-Flores F., Aguilar M.I., King-Díaz B., De Santiago-Gómez J.R., Lotina-Hennsen B. (2013). Derivatives of diterpen labdane-8 α ,15-diol as photosynthetic inhibitors in spinach chloroplasts and growth plant inhibitors. *Journal of photochemistry and photobiology* 125: 42-50
 - Muszyńska B., Sułkowska-Ziaja K., Ekiert H. (2013). Analysis of indole compounds in methanolic extracts from the fruiting bodies of *Cantharellus cibarius* (the Chanterelle) and from the mycelium of this species cultured in vitro. *Journal of Food Science and Technology* 50, 1233-1237
 - Webber C.L., Shrefler J.W., Brandenberger L.P., Taylor M.J., Boydston R.A. (2009). 2008 Organic herbicide update. Proceedings of the Horticultural Industries Show. Ft. Smith, AR, USA. Jan. 2009. p. 237-239.
 - Webber C.L., Shrefler J.W., Brandenberger L.P. (2012). Organic Weed Control, Herbicides - Environmental Impact Studies and Management Approaches, Dr. Ruben Alvarez-Fernandez (Ed.)
 - Webber C.L., Taylor M.J., Shrefler J.W. (2014a). Weed Control in Yellow Squash Using Sequential Postdirected Applications of Pelargonic Acid. *HortTechnology* 24 (1) : 25-29.
 - Webber C.L., Taylor M.J., Shrefler J.W. (2014b). Weed Control in Sweet Bell Pepper Using Sequential Postdirected Applications of Pelargonic Acid. *HortTechnology* 24 (6) : 663-667.
 - Wehtje G., Altland J. E., Gilliam C. H. (2009). Interaction of Glyphosate and Pelargonic Acid in Ready-to-Use Weed Control Products. *Weed Technology* 23 (4) : 544-549.
- <http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/lessentiel/ar/246/1108/respect-normes-pesticides-eaux-souterraines.html>, consulté le 17/08/2016
- <http://ec.europa.eu/food/plant/pesticides/eu-pesticides-database/public/?event=activesubstance.selection&language=EN>, consulté le 03/10/2016